

**"Metodo per filtrare una sequenza di immagini
digitali"**

DESCRIZIONE

La presente invenzione riguarda l'elaborazione di
5 immagini digitali ed in particolare si riferisce ad un
metodo per filtrare il rumore in una sequenza di immagini
digitali.

Le immagini digitali sono attualmente utilizzate in
molteplici applicazioni quali, ad esempio, quelle relative
10 ai dispositivi d'acquisizione tradizionali, come le
foto/video camere digitali. E' previsto inoltre un sempre
più diffuso utilizzo delle immagini digitali in
dispositivi di nuova generazione, ad esempio, nei
terminali mobili di comunicazione multimediale.

15 Esistono numerosi dispositivi o applicazioni che
utilizzano immagini digitali in sequenza, cioè acquisite a
breve intervallo temporale l'una dall'altra e
rappresentanti approssimativamente una stessa scena reale.

La velocità di acquisizione della sequenza, ossia il
20 numero di immagini acquisite in un dato intervallo di
tempo, è variabile in base alle specifiche applicazioni;
ad esempio, è molto elevata nelle videocamere digitali
(circa 25 immagini al secondo) ed è invece più bassa in
terminali mobili di comunicazione (circa 15 immagini al
25 secondo) che acquisiscono le immagini digitali e le

trasmettono in tempo reale verso un terminale remoto.

E' noto che i dispositivi d'acquisizione di immagini digitali, specialmente se includenti sensori di tipo CMOS, introducono intrinsecamente del rumore nelle immagini
5 acquisite.

Nelle sequenze immagini digitali il rumore, oltre a degradare la qualità delle immagini, riduce anche l'efficienza di codifica/compressione. Comunemente, infatti, le sequenze di immagini acquisite sono destinate
10 ad essere codificate/comprese con tecniche di codifica/compressione che operano, ad esempio, in accordo allo standard MPEG o allo standard H263 e che sono ormai diffusamente utilizzate nella maggior parte dei dispositivi attualmente in commercio.

15 In presenza di rumore, l'efficienza di codifica / compressione è ridotta perché il rumore introdotto è, tipicamente, in forma di fluttuazioni casuali che riducono la ridondanza sia all'interno di un'immagine sia fra immagini temporalmente vicine.

20 Esistono numerose tecniche di filtraggio, per ridurre o eliminare il rumore presente in una sequenza di immagini.

Sono stati numerosi i tentativi di sviluppare tecniche efficienti di riduzione del rumore di una
25 sequenza utilizzando differenti specifici tipi di filtri.

Ad esempio, sono noti filtri digitali di tipo passa-basso, filtri mediani, filtri spaziali adattativi e filtri temporali ricorsivi con o senza compensazione del movimento.

5 Sono, inoltre, note tecniche che, per migliorare l'efficienza di riduzione del rumore in sequenze di immagini, utilizzano metodi ibridi che combinano un filtraggio digitale di tipo spaziale ad un filtraggio di tipo temporale.

10 Le tecniche note di riduzione del rumore in sequenze di immagini, seppur soddisfacenti sotto diversi aspetti, presentano numerosi inconvenienti e problemi, legati ad esempio a prestazioni non adeguate, a onerosità d'elaborazione o ad un'implementazione eccessivamente
15 costosa a tal punto da poter essere difficilmente impiegate in dispositivi d'acquisizione portatili di tipo commerciale.

Scopo della presente invenzione è di mettere a disposizione un metodo di riduzione del rumore, in una
20 sequenza di immagini, che non presenti gli inconvenienti dei metodi della tecnica nota. Questo scopo si ottiene con un metodo per filtrare una sequenza di immagini digitali in formato CFA così come descritto nelle rivendicazioni da 1 a 12.

25 Costituiscono oggetto della presente invenzione anche

un filtro così come descritto nella rivendicazione 13 ed un dispositivo di acquisizione così come descritto nella rivendicazione 14.

Ulteriori caratteristiche e i vantaggi
5 dell'invenzione saranno meglio compresi dalla seguente descrizione dettagliata di una sua forma d'esecuzione preferita, data a titolo indicativo e pertanto in nessun modo limitativo in relazione alle figure allegate, in cui:

- la figura 1 mostra lo schema a blocchi
10 esemplificativo di un possibile dispositivo d'acquisizione che implementa un metodo d'elaborazione secondo la presente invenzione,

- la figura 2 mostra lo schema di disposizione degli elementi filtranti di un sensore di tipo Bayer
15 impiegabile nel dispositivo di figura 1,

- la figura 3 rappresenta schematicamente la successione di fasi di un particolare metodo d'elaborazione secondo la presente invenzione,

- la figura 4 mostra una maschera di selezione
20 per selezionare pixel di colore verde impiegabile nel metodo d'elaborazione secondo la presente invenzione,

- la figura 5 mostra due maschere di selezione per selezionare pixel di colore rosso e pixel di colore blu impiegabili nel metodo d'elaborazione secondo la presente
25 invenzione,

- la figura 6 mostra in maggior dettaglio una delle fasi della successione rappresentata in figura 3,

- la figura 7 mostra un esempio di scelta di pixel in accordo ad una selezione di tipo DRT,

5 - la figura 8 è un grafico che illustra risultati sperimentali, e

- la figura 9, riporta schematicamente due architetture di filtraggio, la prima in accordo alla presente invenzione, la seconda di tipo convenzionale.

10 L'esempio di realizzazione preferita della presente invenzione si riferisce ad un dispositivo portatile atto ad acquisire sequenze di immagini digitali per applicazioni video, ed in particolare si riferisce al filtraggio del rumore di una sequenza di immagini
15 acquisita con una video camera digitale.

A tal proposito, si osservi che gli insegnamenti della presente invenzione possono essere estesi anche ad applicazioni differenti da quella cui si fa esplicitamente riferimento nella seguente descrizione, ad esempio
20 all'acquisizione di sequenze di immagini in terminali mobili multimediali di comunicazione di nuova generazione.

In figura 1 è mostrata, in maniera molto schematica, mediante blocchi funzionali una videocamera digitale 1. La videocamera 1 include un blocco 2 di acquisizione,
25 comprendente un sensore ottico 3.

Il sensore 3, ad esempio di tipo CCD (Charge Coupled Device) o CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor), è un circuito integrato comprendente una matrice di celle fotosensibili, ciascuna delle quali serve a generare un
5 segnale elettrico proporzionale alla quantità di luce che la investe durante l'intervallo di acquisizione. Ciascuna cella fotosensibile del sensore, a cui comunemente ci riferisce con il termine di pixel, corrisponde ad un rispettivo pixel nell'immagine digitale.

10 In una realizzazione preferita il sensore 2 comprende un filtro ottico CFA (Colour Filter Array), per esempio a matrice di Bayer.

Com'è noto ad un esperto del settore, in un sensore con filtro CFA per acquisire un pixel dell'immagine è
15 disponibile una sola cella fotosensibile. Il sensore è ricoperto da un filtro ottico costituito da una matrice (ad esempio, di Bayer) d'elementi filtranti, ciascuno dei quali è associato ad una cella fotosensibile. Ogni elemento filtrante trasmette (assorbendone una porzione
20 minima) alla cella fotosensibile ad esso associata la radiazione luminosa corrispondente alla lunghezza d'onda della sola luce rossa, della sola luce verde o della sola luce blu, in modo da rivelare per ciascun pixel soltanto una componente. Lo schema di disposizione degli elementi
25 filtranti in un filtro di Bayer è rappresentato in figura

2, dove con R,G,B, sono indicati elementi filtranti rispettivamente di colore rosso, verde, blu.

La videocamera 1 include inoltre un blocco di conversione analogico/digitale A/D, indicato con 4, per
5 tradurre il segnale elettrico generato da ogni cella fotosensibile in un valore digitale su un prefissato numero di bit (generalmente 8, 10 o 12 bit). Si può assumere, solo a titolo d'esempio e senza per questo introdurre alcuna limitazione, che nella presente
10 invenzione il convertitore A/D 4 sia tale da codificare i segnali analogici in ingresso con valori digitali rappresentati con otto bit.

In uscita dal blocco A/D 4, l'immagine digitale è in formato CFA (Colour Filter Array), cioè è costituita da
15 una sola componente cromatica (R,G o B) per pixel. Per questo motivo, un solo valore digitale su un byte è associato ad ogni pixel.

Un blocco di filtraggio 5, è tale da filtrare il rumore operando direttamente sulle immagini digitali della
20 sequenza in formato CFA, in questo esempio, in formato di Bayer, producendo in uscita, per ogni immagine CFA rumorosa in ingresso, una corrispondente immagine CFA con rumore ridotto.

Un blocco di pre-processamento PrePro 6, attivo prima
25 e durante tutta la fase di acquisizione, è tale da

interagire con il blocco di acquisizione 2 per estrarre dalle immagini CFA filtrate alcuni parametri utili ad eseguire funzioni automatiche di controllo: funzioni di auto-focus, auto-esposizione, correzione dei difetti del
5 sensore e bilanciamento del bianco.

Un blocco 7 denominato IGP (Image Generation Pipeline) è preposto allo svolgimento di una fase di elaborazione per produrre, a partire da una immagine digitale CFA, un'immagine digitale completa, ad esempio in
10 formato YCrCb, in cui ad ogni pixel sono associati tre valori digitali (in totale, 24 bit), corrispondenti ad una componente di luminanza Y, e a due componenti di cromaticità Cr e Cb. Questa trasformazione, nota con il termine di interpolazione del colore, comporta un
15 passaggio da una rappresentazione dell'immagine su un solo piano (piano di Bayer), contenente l'informazione relativa a diverse componenti cromatiche, ad una rappresentazione su tre piani.

Comunemente nelle fotocamere digitali, il blocco IGP
20 è realizzato attraverso un processore dedicato (processore CFA), ad esempio in tecnologia VLSI (Very Large Scale Integration).

Preferibilmente, in questo esempio il blocco 7 IGP, oltre all'interpolazione, è anche tale da eseguire diverse
25 funzioni, quali ad esempio l'applicazione di effetti

speciali, la correzione gamma, lo scalamento, la stabilizzazione ed altre funzioni in genere variabili in numero e tipo da costruttore a costruttore.

Seguono un blocco 8 di compressione/codifica, in questo esempio di tipo MPEG (ma può essere di altri tipi come, ad esempio, H263), ed una unità di memoria 9.

Nella videocamera 1, durante la ripresa di una sequenza video, le immagini della sequenza sono acquisite consecutivamente attraverso il blocco di acquisizione 2, preferibilmente, a breve distanza temporale l'una dall'altra. Ad esempio, lo standard MPEG-4 richiede che siano acquisite quindici immagini al secondo.

In seguito indicheremo con $Img_1, Img_2, Img_3, \dots, Img_{n-1}, Img_n, Img_{n+1}, \dots$ le immagini acquisite in sequenza: Img_1 rappresenta la prima immagine della sequenza acquisita in ordine di tempo, Img_2 rappresenta la seconda immagine e così via.

Ciascuna immagine, dopo l'acquisizione, viene elaborata dai blocchi successivi, in modo che anche nelle successive fasi di elaborazione le immagini siano elaborate in sequenza nell'ordine temporale di acquisizione.

Le immagini della sequenza, dopo l'acquisizione, sono convertite in valori digitali dal convertitore A/D 4.

Le immagini digitali in formato CFA sono poi inviate

in ingresso al blocco di filtraggio 5 CFA NF per essere elaborate in accordo al metodo di filtraggio del rumore secondo la presente invenzione. Il blocco di filtraggio produce in uscita una sequenza di immagini CFA filtrate, 5 rispettivamente f_Img_1 , f_Img_2 , f_Img_3 , ..., f_Img_{n-1} , f_Img_n , f_Img_{n+1} , aventi rumore ridotto.

Le immagini CFA filtrate sono poi elaborate dal blocco di pre-processamento 6.

Ciascuna immagine in formato CFA in uscita del blocco 10 di pre-processamento 6 è inviata al blocco di elaborazione IGP 7. In tale blocco le immagini sono sottoposte ad una fase di interpolazione del colore e trasformate dunque in immagini complete, ad esempio in formato YCrCb.

La fase d'interpolazione del colore può essere, ad 15 esempio, effettuata con metodologie note al tecnico del ramo e, pertanto, risulta evidente dalla precedente descrizione.

Successivamente le immagini, sono inviate al blocco 8 "MPEG Encoder" che produce in uscita una sequenza, o 20 flusso, di immagini codificate/comprese secondo una codifica di tipo MPEG.

Il flusso di immagini compresse "MPEG Stream" può essere registrato in un'unità di memoria 9, oppure inviato ad una periferica esterna, non mostrata in figura.

25 In una realizzazione preferita, il metodo

d'elaborazione filtra la sequenza di immagini CFA, in quest'esempio di Bayer, immagine per immagine.

Le immagini CFA sono filtrate pixel per pixel, con un ordine di scansione sistematica dei pixel da sinistra verso destra e dall'alto verso il basso. In particolare, per ogni pixel $p_n(x,y)$ di un'immagine Img_n è calcolato un rispettivo pixel omologo filtrato $f_{p_n}(x,y)$ di una corrispondente immagine filtrata f_Img_n .

Per elaborare il pixel $p_n(x,y)$ dell'immagine Img_n e calcolare il pixel filtrato $f_{p_n}(x,y)$, il metodo della presente invenzione vantaggiosamente utilizza anche pixel filtrati appartenenti ad una immagine della sequenza precedentemente filtrata f_Img_{n-1} . Più in particolare utilizza l'immagine f_Img_{n-1} risultante dal filtraggio dell'immagine Img_{n-1} che nella sequenza precede temporalmente l'immagine da filtrare Img_n .

Tipicamente, dunque, per eseguire il processo di filtraggio sono sufficienti tre buffer d'immagine: due buffer d'ingresso contengono rispettivamente l'immagine Img_n da filtrare (immagine corrente) e l'immagine precedentemente filtrata f_Img_{n-1} , e un buffer d'uscita contiene l'immagine corrente filtrata f_Img_n .

In figura 3 è rappresentata schematicamente la successione di fasi di un metodo di elaborazione per la riduzione del rumore in accordo alla presente invenzione.

In particolare, in figura 3 sono mostrate le fasi che consentono di ottenere a partire dal pixel $p_n(x,y)$ dell'immagine Img_n il rispettivo pixel omologo filtrato $f_{p_n}(x,y)$ della corrispondente immagine filtrata f_{Img_n} .

5 Una prima fase di selezione SW_SEL 21, dato il pixel in ingresso $p_n(x,y)$ da filtrare, seleziona un primo insieme di pixel $SW_n(x,y)$ comprendente il pixel $p_n(x,y)$ stesso ed una pluralità di pixel, appartenenti all'immagine Img_n , ad esso limitrofi. Più in dettaglio,
10 sono selezionati pixel limitrofi aventi associato lo stesso colore (R,G o B) del pixel da filtrare.

In una realizzazione preferita, la selezione è effettuata utilizzando maschere, o matrici, di selezione SM_G, SM_R, SM_B differenti in base al colore del pixel da
15 filtrare $p_n(x,y)$, tutte di dimensione 5x5, ad esempio come quelle rappresentate nelle figure 4 e 5.

In figura 4 è mostrata una maschera di selezione SM_G per i pixel verdi (G), in accordo ad una forma realizzativa dell'invenzione. Nella fase di selezione 21
20 la maschera SM_G è allineata all'immagine da filtrare in modo che G_0 sia in corrispondenza del pixel verde $p_n(x,y)$ da filtrare. In tal modo, la maschera SM_G seleziona un primo insieme $SW_n(x,y)$ di pixel comprendente il pixel verde $p_n(x,y)$ in corrispondenza di G_0 , ed otto pixel verdi
25 limitrofi disposti rispettivamente in posizioni

corrispondenti ai pixel G_1, \dots, G_8 della maschera SM_G rappresentata in figura. Tale insieme definisce una finestra operativa spaziale $SW_n(x, y)$ per il pixel verde da filtrare.

5 Analogamente, con riferimento alla figura 5, sono mostrate le maschere di selezione SM_R ed SM_B , rispettivamente utilizzate se il pixel da filtrare è di colore rosso o di colore blu.

La maschera SM_R , per i pixel rossi, è tale da
10 selezionare un primo insieme $SW_n(x, y)$ di pixel comprendente il pixel rosso da filtrare $p_n(x, y)$ in corrispondenza di R_0 , ed otto pixel rossi limitrofi disposti rispettivamente in posizioni corrispondenti ai pixel R_1, \dots, R_8 della maschera.

15 Si noti che, in questa particolare forma realizzativa, la maschera di selezione SM_B per i pixel blu è identica alla maschera di selezione per SM_R per i pixel rossi. Questa scelta è possibile grazie al particolare schema di disposizione degli elementi
20 filtranti in un sensore di tipo Bayer.

Questo vantaggiosamente consente, durante la fase di selezione 21 SW_SEL , di dover discriminare solo fra due possibili casi, cioè distinguere se il pixel $p_n(x, y)$ da filtrare è verde o meno.

25 Ritornando al diagramma di figura 3, una seconda fase

di selezione 22 TW_SEL , seleziona un secondo insieme di pixel $TW_n(x,y)$, comprendente pixel appartenenti all'immagine precedentemente filtrata f_Img_{n-1} disposti in posizioni corrispondenti, cioè omologhi, ai pixel del
5 primo insieme $TW_n(x,y)$.

Vantaggiosamente, a tal scopo, possono essere utilizzate le matrici di selezione sopra descritte applicate, questa volta, all'immagine precedentemente filtrata f_Img_{n-1} .

10 L'insieme di pixel così ottenuto definisce una finestra operativa temporale $TW_n(x,y)$ per il pixel da filtrare.

Le finestre operative temporali e spaziali rappresentano l'insieme dei pixel che interverranno nelle
15 successive fasi del processo di filtraggio del pixel $p_n(x,y)$.

Come è noto ad un esperto nel settore, nel filtraggio digitale di sequenze di immagini, un pixel filtrato può essere ottenuto combinando in modo opportuno un certo
20 numero di pixel ad esso adiacenti spazialmente (filtraggio spaziale), temporalmente (filtraggio temporale) o spazio/temporalmente (filtraggio spazio/temporale).

In particolare, come sarà descritto meglio in seguito, il metodo della presente invenzione decide, pixel
25 per pixel, se utilizzare un filtraggio di tipo

esclusivamente spaziale oppure utilizzare un filtraggio di tipo spazio/temporale. Vantaggiosamente la decisione sul tipo di filtraggio è legata all'entità del movimento fra immagini successive della sequenza consentendo di evitare
5 la compensazione del movimento, di per sé molto onerosa computazionalmente.

Nel caso in cui sia utilizzato il filtraggio spaziale, in questo interverranno i pixel della finestra operativa spaziale $SW_n(x,y)$, altrimenti saranno utilizzati
10 pixel appartenenti ad entrambe le finestre.

Una volta ottenute le due finestre operative, rispettivamente spaziale e temporale, una prima fase di stima del rumore 23 $Snoise_est$ effettua una stima di un parametro statistico $NL_n(x,y)$ rappresentativo del livello
15 di rumore presente sul pixel $p_n(x,y)$ e sulla rispettiva finestra operativa spaziale $SW_n(x,y)$. Di seguito ci riferiremo a tale rumore con il termine di rumore spaziale e a tale fase con il nome di stima spaziale del rumore.

Più in dettaglio, la prima fase di stima 23
20 $Snoise_est$ in primo passo effettua una stima preliminare di rumore (cioè di un parametro statistico rappresentativo del livello di rumore) calcolata localmente, cioè calcolata su pixel della finestra operativa spaziale $SW_n(x,y)$. In un secondo passo ottiene la stima spaziale
25 definitiva $NL_n(x,y)$, modificando la stima preliminare in

base ad una stima spaziale del rumore specifica per il colore del pixel da filtrare e specifica per l'immagine Img_n .

Più in dettaglio, la stima spaziale del rumore è
 5 ottenuta con un calcolo di tipo ricorsivo, essendo
 effettuata tenendo conto sia di un calcolo di rumore
 preliminare e locale, sia della stima spaziale del livello
 di rumore effettuata per l'ultimo pixel filtrato
 dell'immagine Img_n , avente lo stesso colore del pixel da
 10 filtrare $p_n(x,y)$.

In formule, nel caso in cui, ad esempio, $p_n(x,y)$ sia un pixel verde, si ha:

$$\begin{aligned} NL_n(x,y) &= NL_n^G(x,y) = \\ &= k_n(x,y) \times N[SW_n(x,y)] + (1 - k_n(x,y)) \times NL_n(pp^G) \end{aligned} \quad (1)$$

in cui l'apice "G" indica che ci si riferisce al
 15 colore verde, $N[SW_n(x,y)]$ è la stima preliminare calcolata
 sulla finestra operativa spaziale $SW_n(x,y)$, $k_n(x,y)$ è un
 fattore moltiplicativo compreso tra zero ed uno e
 determina la forza del filtro spaziale, $NL_n(pp^G)$ è la
 stima spaziale di rumore effettuata per il pixel verde pp^G
 20 dell'immagine Img_n che immediatamente precede il pixel
 verde da filtrare $p_n(x,y)$ nell'ordine di scansione
 dell'immagine Img_n .

Ovviamente, se il pixel da filtrare $p_n(x,y)$ è il primo pixel del rispettivo colore ad essere filtrato

nell'immagine Img_n , si ha a disposizione solo la stima
preliminare $N[SW_n(x,y)]$. In tal caso, si pone ad esempio,
limitatamente al pixel $p_n(x,y)$, $k_n(x,y)=1$, oppure si
assegna alla quantità $NL_n^G(pp^G)$ un valore arbitrario,
5 preferibilmente piccolo.

La prima fase di stima spaziale del rumore 23
Snoise_est, può essere ad esempio eseguita come descritto
dettagliatamente nella domanda di brevetto europeo No.
01830562.3 della Richiedente, qui incorporata nella sua
10 interezza per effetto di riferimento. Da tale documento
risulta evidente anche il calcolo ed il significato delle
quantità: $NL_n(x,y)$, $N[SW_n(x,y)]$, $k_n(x,y)$, $NL_n^G(pp^G)$. Si vedano
a tal proposito le formule (1), (2), (3), (4), (5), (6),
(7), (8), le figure 7, 8A, 8B, 10 (e la relativa
15 descrizione) della sopra citata domanda di brevetto No.
01830562.3. Per un ulteriore approfondimento sulla stima
del rumore spaziale sopra descritta, in particolare così
come espressa nell'equazione (1), si faccia riferimento
anche al brevetto statunitense US 6,108,455.

20 La stima spaziale del rumore $NL_n(x,y)$ così calcolata
interviene nella regolazione del grado, o forza, del
filtraggio nel caso in cui il filtraggio del pixel $p_n(x,y)$
sia di tipo esclusivamente spaziale.

Terminata la fase di stima spaziale del Snoise_est 23
25 del rumore, una fase successiva Text_est di stima di

disomogeneità associa un indice di disomogeneità (o grado di "texture") $T_D(x,y)$ al pixel da filtrare $p_n(x,y)$ in base ad una misura di disomogeneità (o analogamente di omogeneità) effettuata sui pixel appartenenti alla
5 finestra operativa spaziale $SW_n(x,y)$.

L'indice di disomogeneità $T_D(x,y)$ serve a decidere se il pixel $p_n(x,y)$ appartiene ad una regione omogenea o meno, al fine di stabilire se tale pixel (dunque la corrispondente finestra operativa spaziale) dovrà
10 contribuire o meno ad una stima di rumore di tipo spazio/temporale che sarà descritta meglio in seguito.

Infatti, una regione omogenea, è in grado di fornire informazione affidabile sul rumore effettivo presente nell'immagine poiché le fluttuazioni (cioè le differenze)
15 fra pixel appartenenti ad una regione omogenea sono sostanzialmente attribuibili al rumore casuale.

All'esperto del settore sono note differenti metriche per il calcolo di una misura di disomogeneità su un insieme di pixel, per questo motivo tale argomento non
20 sarà ulteriormente approfondito. Fra queste, citiamo solo a scopo d'esempio le seguenti: differenza massima, differenza minima, MAD (Media delle Differenza Assolute), deviazione standard, estrazione di un parametro di distribuzione da un istogramma dei valori digitali dei
25 pixel.

In una realizzazione particolarmente vantaggiosa dal punto di vista computazionale, il parametro $k_n(x,y)$, utilizzato nella fase di stima del rumore spaziale $Snoise_est$ 23, è calcolato in base ad una misura di omogeneità/disomogeneità. In particolare è ottenuto in base ad un calcolo di differenze fra il pixel da filtrare e gli altri pixel della finestra operativa spaziale. In tal caso la fase di stima di disomogeneità 24 $Text_est$ può essere inglobata nella fase di stima spaziale del rumore 23 $Snoise_est$, calcolando una unica misura di disomogeneità utile sia alla stima del rumore spaziale, sia ad associare al pixel da filtrare un indice di disomogeneità $T_D(x,y)$.

Attraverso una fase di confronto 25, si verifica se l'indice di disomogeneità $T_D(x,y)$ del pixel $p_n(x,y)$ è inferiore ad un prefissato valore di soglia T_h (cioè il pixel appartiene ad una regione giudicata omogenea).

Se ciò non accade si passa ad una fase successiva di valutazione del movimento Mot_det 27. Viceversa, prima di effettuare la fase Mot_det di valutazione del movimento, è eseguita una seconda fase 26 $L_STnoise_est$ di stima locale del rumore (cioè relativa al pixel da filtrare) che servirà ad ottenere una stima globale del rumore (cioè relativa all'intera immagine sotto trattamento).

Nella fase di stima 26 $L_STnoise_est$ viene stimato un

parametro, ad esempio statistico, rappresentativo del rumore presente localmente nella finestra operativa spaziale. Tale parametro è ad esempio calcolato come una deviazione standard locale σ_{n+1}^{Loc} sulla finestra operativa
 5 spaziale del pixel $p_n(x,y)$ o calcolato come un'altra analoga misura di energia.

Data la finestra operativa spaziale $SW_n(x,y)$ relativa al pixel $p_n(x,y)$, la deviazione standard locale σ_{n+1}^{Loc} può essere calcolata in accordo alla seguente formula:

10

$$\sigma_{n+1}^{Loc}(x,y) = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{(x,y) \in SW_n(x,y)} (p_n(x,y) - m)^2} \quad (2)$$

in cui N è il numero di pixel appartenenti alla finestra operativa $SW_n(x,y)$ (in questo caso $N=9$) ed m è la media dei loro valori digitali.

15 Come anticipato, e come sarà spiegato più approfonditamente in seguito, una volta terminato il filtraggio dell'immagine Img_n , le numerose deviazioni standard locali σ_{n+1}^{Loc} così calcolate per i pixel dell'immagine Img_n giudicati appartenenti a regioni
 20 omogenee saranno utilizzate per aggiornare una stima globale σ_{n+1}^{GL} di rumore, che chiameremo anche stima di rumore di tipo spazio/temporale. In particolare, tale stima globale sarà utilizzata nel filtraggio spazio/temporale dell'immagine successiva Img_{n+1} .

La fase di valutazione del movimento 27 Mot_det confronta pixel della finestra operativa temporale $TW_n(x,y)$ con pixel della finestra operativa spaziale $SW_n(x,y)$ al fine di rilevare la presenza di movimento fra
5 le due finestre operative, ed eventualmente valutarne l'entità.

Com'è noto ad un esperto del settore, in un approccio di tipo "non compensato in movimento" è necessario prendere opportune precauzioni per evitare di introdurre,
10 con il filtraggio spazio/temporale, artefatti dovuti al movimento fra immagini consecutive. In particolare, occorre verificare che le due finestre operative non contengano dati incongruenti, a causa del movimento fra immagini consecutive o fra porzioni di queste.

15 Ad esempio può accadere che una finestra operativa contenga pixel appartenenti ad un oggetto, mentre l'altra finestra contenga pixel appartenenti allo sfondo poiché l'oggetto si è spostato tra un'immagine e la successiva.

Esempi tipici di artefatti che potrebbero prodursi in
20 questi casi sono la presenza di fastidiose scie e la presenza della cosiddetta "immagine fantasma" visibile nell'immagine filtrata e dovuta ad informazione residua di immagini precedenti.

In una realizzazione preferita, la fase di
25 rilevamento del movimento Mot_det calcola come misura di

movimento una misura $M(x,y)$ di SAD (Somma di Differenze Assolute) fra pixel della finestra operativa temporale e pixel della finestra operativa spaziale. Tale misura $M(x,y)$ ha un valore tanto più elevato quanto maggiori sono le differenze tra le due finestre operative e può dunque essere rappresentativa del movimento fra le due finestre.

La misura di SAD è nota al tecnico del ramo e, pertanto, risulta evidente dalla precedente descrizione.

In una variante realizzativa particolarmente vantaggiosa, la misura di movimento $M(x,y)$ è una misura di SAD "modificata". Per calcolare tale misura si esegue una differenza in valore assoluto pixel per pixel fra le due finestre operative ottenendo una finestra operativa differenza $DW_n(x,y)$:

$$DW_n(x,y) = |SW_n(x,y) - TW_n(x,y)|. \quad (3)$$

Si calcola poi la media W_{avg} dei pixel delle finestra operativa differenza $DW_n(x,y)$, e si ottiene una misura di SAD modificata $M(x,y)$ data da:

$$M(x,y) = SAD(DW_n(x,y) - W_{avg}).$$

Questa misura di SAD, così modificata, consente vantaggiosamente di evitare che un cambiamento delle condizioni d'illuminazione fra le due immagini sia interpretato erroneamente come un movimento.

In un'altra variante realizzativa particolarmente vantaggiosa, al fine di evitare che il valore di SAD sia

troppo sensibile ai valori digitali dei pixel delle due finestre operative (che sono contaminati da rumore) si può scegliere di quantizzare leggermente i valori dei pixel, portando ad esempio la precisione sul valore del pixel per
5 il calcolo della SAD da otto a sette bit.

Attraverso una fase di confronto 28, si verifica se la misura di movimento $M(x,y)$ del pixel $p_n(x,y)$ è superiore ad un prefissato valore di soglia M_h .

Se ciò accade viene effettuata una fase di filtraggio
10 29 S_filter di tipo esclusivamente spaziale poiché è stato osservato un cambiamento eccessivo fra le due finestre operative.

Il filtraggio esclusivamente spaziale produce il pixel filtrato $f_{p_n}(x,y)$ a partire dai pixel della
15 finestra operativa spaziale. La forza del filtraggio è regolata dalla stima del livello di rumore spaziale $NL_n(x,y)$ calcolata nella fase di stima del rumore 23 S_{noise_est} . In una realizzazione preferita, il filtraggio digitale spaziale è effettuato secondo la tecnica
20 descritta nella succitata domanda di brevetto europeo della Richiedente No. 01830562.3, in cui il pixel filtrato è ottenuto come media pesata dei pixel della finestra operativa spaziale (si veda in particolare la formula (9)).

25 Ovviamente, il filtraggio esclusivamente spaziale

viene inoltre effettuato per tutti i pixel della prima immagine della sequenza, poiché per questa non ci ancora sono dati temporali a disposizione.

Se invece il movimento misurato $M(x,y)$ è inferiore al prefissato valore di soglia M_h viene effettuata una fase di filtraggio digitale ST_filter 30 di tipo spazio/temporale rappresentata in maggior dettaglio in figura 6.

In questa, una prima fase di filtraggio 33 Duncan_filt, produce un pixel filtrato provvisorio $d_{p_n}(x,y)$ in accordo ad una tecnica di filtraggio nota con il nome di filtraggio di Duncan che verrà descritta più dettagliatamente in seguito. In questa fase, il pixel filtrato provvisorio $d_{p_n}(x,y)$ è ottenuto a partire da un sotto-insieme di pixel appartenenti ad entrambe le finestre operative.

Come si vede in figura 6, se il movimento rilevato è giudicato sufficientemente piccolo, cioè inferiore ad un ulteriore valore di soglia M_l prefissato, inferiore al valore di soglia M_h , sul pixel filtrato provvisorio non viene eseguita più alcuna operazione e si pone:

$$f_{p_n}(x,y) = d_{p_n}(x,y). \quad (4)$$

In questo caso dunque il pixel $p_n(x,y)$ è effettivamente filtrato con un metodo di filtraggio spazio/temporale di Duncan.

Viceversa, cioè nel caso in cui il movimento rilevato non è trascurabile, viene eseguita una ulteriore elaborazione 35 Smooth_filt, che produce dal pixel filtrato provvisorio $d_{p_n}(x,y)$ il pixel filtrato "definitivo" $f_{p_n}(x,y)$ in accordo ad una operazione di "ammorbidimento" così come è espressa dalla seguente formula:

$$f_{p_n}(x,y) = \beta_n \times d_{p_n}(x,y) + (1 - \beta_n) \times p_n(x,y) \quad (5)$$

in cui β_n è una fattore moltiplicativo, compreso tra 10 0 ed 1, che può dipendere dalla misura di movimento $M(x,y)$ oppure può essere uguale per tutte le immagini della sequenza. Ad esempio, in una realizzazione preferita si ha che β_n è circa uguale a 0,75.

A seguito dell'operazione d'ammorbidimento, il pixel 15 filtrato definitivo si ottiene da una porzione (in questo esempio 75%) del valore fornito dal filtraggio di Duncan e da una porzione (25%) del valore del pixel non filtrato. In altre parole il pixel filtrato definitivo si ottiene da una somma fra una frazione del pixel filtrato provvisorio 20 ed una frazione del pixel non filtrato.

Questo accade perché, nel caso in cui ci siano incongruenze non trascurabili (dovute al movimento) fra le finestre operative, è importante poter "trascurare" in misura maggiore l'informazione temporale e dare un po' più 25 di rilevanza all'immagine corrente da filtrare.

Verrà di seguito descritta un'implementazione della fase di filtraggio di Duncan particolarmente vantaggiosa.

Nel filtraggio di Duncan è dapprima selezionato un sotto-insieme o "range" di pixel appartenenti alle due
5 finestre operative tramite il cosiddetto "Duncan Range Test" o "DRT" (si veda a tal proposito "Multiple range and multiple f-tests", D.B. Duncan, Biometrics, vol. 11., pagg. 1-42, 1955).

L'applicazione del "DRT" al filtraggio digitale è
10 noto ad esempio dalla domanda di brevetto EP 1 100 260 A1 della Richiedente.

Le operazioni successive di filtraggio del pixel $p_n(x,y)$ sono poi eseguite solo con pixel che appartengono al "range" selezionato tramite il DRT.

15 Lo scopo della selezione operata con il DRT è quello di escludere pixel, appartenenti alle finestre operative, il cui valore è corrotto in misura eccessiva dal rumore.

Ad esempio, questi pixel possono essere presenti per effetto di un rumore, noto con il nome di "salt and pepper
20 noise", che è in grado di portare il valore digitale di qualche pixel al massimo o al minimo valore della scala dei possibili valori digitali.

Inoltre lo scopo della selezione con il DRT è quello di escludere anche pixel che sono molto differenti dal
25 pixel da filtrare $p_n(x,y)$, per esempio a causa di un

differente contenuto informativo. Si pensi ad esempio al caso in cui il pixel da filtrare $p_n(x,y)$ sia relativo ad uno "spigolo" e invece ci siano pixel nelle finestre operative appartenenti allo sfondo della scena. Se i pixel
 5 dello sfondo non fossero esclusi, il filtraggio comporterebbe una notevole perdita di definizione dell'immagine.

Una selezione effettuata con il DRT deve individuare un intervallo SI (intervallo di selezione) di valori
 10 digitali avente ampiezza S opportuna che contiene il maggior numero di pixel simili (in questo caso appartenenti alle finestre operative) al pixel da filtrare $p_n(x,y)$. L'ampiezza S dell'intervallo di selezione SI è correlata alla deviazione standard del rumore da filtrare,
 15 che si suppone essere nota.

Non è necessario che tale intervallo sia centrato attorno al pixel da filtrare: se ciò accadesse, e se il pixel da filtrare fosse, per esempio, altamente corrotto da rumore il test escluderebbe pixel utili al filtraggio.

20 In una realizzazione preferita, la deviazione standard di rumore utilizzata per la selezione con il DRT, durante il filtraggio del pixel $p_n(x,y)$ nell'immagine Img_n , è la stima globale di rumore spazio/temporale σ_n^{GL} calcolata nel filtraggio dell'immagine precedente Img_{n-1} .
 25 Tale scelta è particolarmente vantaggiosa dal punto di

vista dell'ottimizzazione delle risorse computazionali, in tal modo, infatti, si evita di dover effettuare una scansione completa dell'immagine da filtrare Img_n (che servirebbe soltanto per stimarne il rumore) prima di del
 5 filtraggio vero e proprio.

La teoria della selezione DRT fornisce tutti gli strumenti per calcolare a partire dalla deviazione standard del rumore, l'ampiezza S e per determinare l'intervallo di selezione SI ottimo. Tali strumenti
 10 richiedono tuttavia un'implementazione computazionalmente onerosa che mal si concilia con requisiti stringenti imposti nell'elaborazione di immagini in tempo reale.

In una realizzazione preferita, un ottimo compromesso fra affidabilità del risultato e complessità
 15 computazionale si ottiene effettuando la selezione del sotto-insieme di pixel con uno fra i tre seguenti intervalli $SI1, SI2, SI3$, come mostrati in figura 7:

- l'intervallo $SI1$ di ampiezza S centrato attorno al valore digitale DV del pixel da filtrare $p_n(x, y)$;
- 20 • l'intervallo $SI2$ di ampiezza S centrato attorno al valore digitale $DV = p_n(x, y) + \sigma_n^{GL}$;
- l'intervallo $SI3$ di ampiezza S centrato attorno al valore digitale $DV = p_n(x, y) - \sigma_n^{GL}$.

Fra i tre intervalli $SI1, SI2, SI3$ si sceglie quello che
 25 contiene il numero maggiore di pixel, che in figura 7 è

l'intervallo SI1. In tal modo, si hanno buoni risultati anche quando il pixel da filtrare $p_n(x,y)$ è un pixel molto rumoroso.

Inoltre, sempre in una realizzazione preferita, il valore
5 dell'ampiezza S dell'intervallo di selezione è calcolato come:

$$S = 3 \times \sigma_n^{GL}. \quad (6)$$

In una variante realizzativa, più onerosa computazionalmente, ma con prestazioni ottimizzate, la
10 scelta dell'intervallo di selezione è effettuata utilizzando opportune funzioni di peso, in accordo al metodo descritto nella sopra citata domanda di brevetto europeo EP 1 100 260 A1 (in questa si vedano in particolare le figure 1b e 4).

15 Una volta individuati, con il metodo DRT, i pixel P_j più simili al pixel da filtrare appartenenti alle due finestre operative e compresi nell'intervallo di selezione SI, si calcola il pixel filtrato provvisorio $d_{p_n}(x,y)$ come media pesata di questi, in formule:

$$20 \quad d_{p_n}(x,y) = \sum_{P_j \in SI} a_j P_j \quad (7)$$

in cui, preferibilmente, i coefficienti di peso a_j sono
25 calcolati come nella sopra citata domanda di brevetto europeo EP 1 100 260 A1 (in questa si veda in particolare pag. 6, righe 41-50).

Ritornando al diagramma di figura 3, dopo il filtraggio, che come è stato spiegato avviene in accordo alla fase 29 S_filter o in accordo alla fase 30 ST_filter, una fase 31 di controllo verifica se il pixel $p_n(x,y)$ appena filtrato è l'ultimo dell'immagine Img_n . Se $p_n(x,y)$ non è l'ultimo pixel, il metodo rappresentato come successione di fasi in figura 3 viene applicato al pixel successivo nell'ordine di scansione, ad esempio al pixel $p_n(x,y+1)$.

Altrimenti, viene eseguita una fase di stima del rumore globale di tipo spazio temporale sulla base delle numerose stime locali σ_{n+1}^{Loc} calcolate, per i pixel dell'immagine Img_n giudicati appartenenti a regioni omogenee, nella fase di stima del rumore locale 26. In particolare, tali stime sono utilizzate per aggiornare una stima globale σ_{n+1}^{GL} di rumore di tipo spazio/temporale che sarà poi utilizzata nel filtraggio spazio/temporale dell'immagine successiva Img_{n+1} . Preferibilmente la stima globale σ_{n+1}^{GL} è rappresentativa della deviazione standard del rumore ed calcolata come media delle numerose stime locali (deviazioni standard) σ_{n+1}^{Loc} .

In alcune situazioni può accadere però che immagini adiacenti abbiano valori di deviazione standard globali σ_{n+1}^{GL} eccessivamente discordanti fra loro e di conseguenza il filtraggio spazio/temporale potrebbe filtrare immagini

adiacenti con intensità troppo differente. Questo genererebbe un fastidioso sfarfallio (flickering) visibile nella riproduzione della sequenza.

In una realizzazione preferita, per evitare questo
 5 inconveniente, la deviazione standard globale σ_{n+1}^{GL} ,
 calcolata come media di deviazioni standard locali, viene
 modificata effettuando una media temporale in modo
 ricorsivo fra un certo numero (ad esempio, due) di
 deviazioni standard globali σ^{GL} relative ad immagini
 10 consecutive. In formule:

$$\sigma_{n+1}^{GL} = \gamma \times \sigma_{n+1}^{GL} + (1 - \gamma) \times \sigma_n^{GL} \quad (8)$$

in cui γ è un numero compreso tra 0 ed 1, σ_n^{GL} la stima di
 rumore globale aggiornata durante il filtraggio
 dell'immagine precedente Img_{n-1} ed utilizzata nel
 15 filtraggio spazio/temporale dell'immagine corrente Img_n .
 Ad esempio, il numero γ può essere circa uguale a 0,75.

Verranno ora descritte forme di realizzazione
 alternative al particolare metodo sopra descritto con
 riferimento alla figura 3

20 In una variante realizzativa, con riferimento alla
 figura 3, il blocco di valutazione del movimento 27
 Mot_det si limita ad effettuare una valutazione di
 presenza/assenza di movimento fornendo in uscita una
 misura $M(x,y)$ di tipo binario ed indicativa della

presenza/assenza di movimento. Ad esempio, si ha in uscita $M(x,y)=1$ se viene rilevata la presenza del movimento, $M(x,y)=0$ altrimenti. In questo caso il valore di soglia M_h può essere ad esempio posto uguale a 0,5.

5 La fase 24 Mot_det può rilevare la presenza di movimento con un metodo di "rilevazione di scia" che opera semplicemente calcolando le differenze pixel per pixel fra le due finestre operative. Se tali differenze hanno tutte lo stesso segno, positivo o negativo, viene rilevata la
10 presenza di movimento, altrimenti viene rilevata l'assenza di movimento.

Nel caso in cui sia rilevata la presenza del movimento viene effettuata la fase 29 di filtraggio spaziale, già descritta in precedenza.

15 Nel caso in cui invece sia rilevata l'assenza di movimento, con riferimento alla figura 6, viene effettuata una fase di filtraggio spazio/temporale 30 ST_filter, in cui il pixel filtrato è ottenuto con una fase di filtraggio di Duncan 33 Duncan_Filt indifferentemente
20 seguita, o meno, da una fase di filtraggio di ammorbidimento 35 Smooth_Filt.

In un'ulteriore variante realizzativa le due fasi di filtraggio S_filter 29 e ST_filter 30, rispettivamente

spaziale e spazio temporale, effettuano le medie pesate per il calcolo del pixel filtrato $f_{p_n}(x,y)$ sostituendo ad alcuni pixel che intervengono nella media pesata il rispettivo valore filtrato, nel caso in cui questo si già
5 disponibile nel buffer d'uscita.

Risultati sperimentali hanno mostrato che il metodo di filtraggio proposto è in grado di fornire concreti vantaggi in termini di qualità d'immagine e in termini di efficienza di codifica/compressione, al contempo
10 richiedendo un'allocazione modesta di risorse computazionali e di memorizzazione. Questo rende l'utilizzo del metodo della presente invenzione particolarmente vantaggioso in applicazioni che richiedono capacità d'elaborazione in tempo reale.

15 In figura 8, la curva indicata con "CFA_filtered" riporta, immagine per immagine, una misura di qualità per una sequenza di trecento immagini filtrate secondo la presente invenzione. La misura è effettuata su immagini filtrate ed interpolate.

20 Sempre in figura 8, la curva indicata con "Noisy" riporta la stessa misura effettuata sulla stessa sequenza non filtrata; anche in questo caso la misura è effettuata su immagini interpolate.

I risultati di figura 8 si riferiscono in particolare ad una misura di PSNR (Peak-to-Peak Signal to Noise Ratio). Il PSNR è una misura di tipo standard ed è rappresentativa della qualità di una immagine, in particolare indica la
5 quantità di segnale presente in una immagine rispetto alla quantità di rumore.

Dai risultati sperimentali di figura 8 si osserva che la sequenza filtrata presenta una misura di PSNR più elevata (tipicamente il guadagno è di circa 3 dB), il che
10 è indicativo di una qualità maggiore.

In figura 9 sono mostrati due schemi di elaborazione per produrre a partire da una sequenza di immagini CFA rumorose una sequenza di immagini filtrate e compresse / codificate in accordo allo standard MPEG4.

15 In particolare, nel cammino superiore, indicato con E1, le immagini CFA sono filtrate con un metodo di filtraggio secondo la presente invenzione dal filtro 5 CFA NF, successivamente sono interpolate dal blocco 7 IGP e codificate / compresse dal blocco 8 MPEG4-Encoder.

20 Nel cammino inferiore, indicato con E2, le immagini CFA rumorose sono prima interpolate dal blocco 7 IGP, poi secondo uno schema di filtraggio convenzionale, sono filtrate con un metodo di filtraggio compensato in movimento effettuato immediatamente prima della codifica
25 compressione MPEG ed indicato con MC_NF. In particolare il

metodo di filtraggio MC_NF utilizza la stima di movimento e la compensazione del movimento del codificatore MPEG per effettuare un filtraggio digitale di tipo spazio / temporale compensato in movimento.

5 Risultati sperimentali hanno dimostrato che lo schema d'elaborazione E1, dunque in accordo alla presente invenzione, consente di ottenere un guadagno del 20% in termini di "bit rate" rispetto allo schema di elaborazione convenzionale E2.

10 Questo può essere spiegato considerando il fatto che nello schema d'elaborazione E2, la stima del movimento e la compensazione del movimento avvengono su immagini affette da rumore, dunque possono non fornire un risultato ottimale, pregiudicando così sia la qualità delle immagini
15 che l'efficienza di compressione.

Il metodo di filtraggio secondo l'invenzione, sopra descritto in una sua forma di realizzazione preferita, può essere implementato utilizzando hardware, software, o una combinazione di hardware e software. In quest'ultimo caso
20 il metodo può essere implementato in uno specifico circuito integrato ASIC (Application Specific Integrated Circuit).

Nel caso in cui sia implementato in un dispositivo per acquisire sequenze di immagini, il metodo secondo la
25 presente invenzione può vantaggiosamente essere eseguito

mediante risorse d'elaborazione (ad esempio, DSP) condivise con altre applicazioni all'interno dello stesso dispositivo.

Ovviamente, al metodo sopra descritto un tecnico del
5 ramo, allo scopo di soddisfare esigenze contingenti e specifiche, potrà apportare numerose modifiche e varianti, tutte peraltro contenute nell'ambito di protezione dell'invenzione, quale definito dalle seguenti rivendicazioni.

RIVENDICAZIONI

1. Metodo per filtrare il rumore di una sequenza di immagini digitali ($Img_1, \dots, Img_n, Img_{n+1}, \dots$) in formato CFA
5 comprendente le seguenti fasi:

- processare una prima immagine CFA (Img_{n-1}) della sequenza per ottenere una corrispondente immagine CFA migliorata (f_Img_{n-1}) avente rumore ridotto;
- elaborare almeno un pixel ($p_n(x, y)$) di una seconda
10 immagine CFA (Img_n) della sequenza che segue temporalmente detta prima immagine (Img_{n-1}), detta fase di elaborare l'almeno un pixel fornendo un corrispondente pixel filtrato ($f_p_n(x, y)$) ed includendo le seguenti operazioni:
 - selezionare (SW_sel) un primo insieme di pixel
15 ($SW_n(x, y)$) comprendente detto almeno un pixel ed una pluralità di pixel della seconda immagine CFA ad esso spazialmente adiacenti;
 - selezionare (TW_sel) un secondo insieme di pixel ($TW_n(x, y)$) comprendente pixel dell'immagine CFA migliorata
20 omologhi ai pixel di detto primo insieme;
 - effettuare un filtraggio digitale di un primo tipo (ST_filter) utilizzando pixel appartenenti a detti primo e secondo insieme per generare il pixel filtrato ($f_p_n(x, y)$).

25 2. Metodo secondo la rivendicazione 1, comprendente

inoltre una fase di:

- effettuare (Mot_det) una prima valutazione di movimento ($M(x,y)$) dell' almeno un pixel, utilizzando pixel appartenenti a detti primo e secondo insieme;

5 ed in cui detto almeno un pixel è tale che detta valutazione di movimento è inferiore ad un primo valore di soglia (M_h).

3. Metodo secondo la rivendicazione 1 comprendente inoltre una fase di:

10 - elaborare un ulteriore pixel ($p_n(x,y)$) di detta seconda immagine, detta fase di elaborare l'ulteriore pixel fornendo un corrispondente ulteriore pixel filtrato ed includendo le seguenti operazioni:

- selezionare (SW_sel) un terzo insieme di pixel

15 comprendente detto ulteriore pixel ed una pluralità di pixel della seconda immagine CFA ad esso spazialmente adiacenti;

- selezionare (TW_sel) un quarto insieme di pixel comprendente pixel dell'immagine CFA migliorata omologhi

20 ai pixel di detto terzo insieme;

- effettuare (Mot_det) una ulteriore valutazione di movimento ($M(x,y)$) dell'ulteriore pixel, utilizzando pixel appartenenti a detti terzo e quarto insieme;

- se detta ulteriore valutazione di movimento è

25 inferiore a detto primo valore di soglia (M_h), effettuare

un filtraggio digitale di un secondo tipo (S_filter) che genera l'ulteriore pixel filtrato utilizzando pixel esclusivamente appartenenti a detto terzo insieme.

4. Metodo secondo la rivendicazione 1, in cui ciascuna
5 immagine CFA della sequenza è formata da una rispettiva matrice di pixel, i pixel di detta matrice essendo associati, in base alla rispettiva posizione nella matrice, ad una di un insieme di componenti cromatiche ed in cui detto primo e detto secondo insieme comprendono
10 pixel associati alla stessa componente cromatica dell'almeno un pixel.

5. Metodo secondo la rivendicazione 4, in cui le immagini della sequenza sono in formato CFA di Bayer, e dette componenti cromatiche appartengono all'insieme
15 comprendente il colore rosso, il colore verde ed il colore blu.

6. Metodo secondo la rivendicazione 5, in cui la fase di selezionare il primo insieme di pixel è effettuata mediante matrici di selezione (SM_G, SM_R, SM_B) differenti
20 a seconda della componente cromatica dell'almeno un pixel, le matrici di selezione essendo tali da selezionare pixel disposti in un intorno dell'almeno un pixel ed aventi la stessa componente cromatica di questo e scartando gli altri, le matrici di selezione essendo inoltre identiche
25 per le componenti cromatiche rosse e blu.

7. Metodo secondo la rivendicazione 1, inoltre
includente una fase (G_STnoise_calc) di effettuare una
stima di un parametro statistico σ_n^{GL} rappresentativo del
rumore globale presente in detta prima immagine (Img_{n-1}),
5 il filtraggio digitale del primo tipo utilizzando inoltre
detto parametro statistico.

8. Metodo secondo la rivendicazione 7, comprendente
inoltre le seguenti fasi:

- selezionare una pluralità di pixel della prima
10 immagine;

- calcolare una pluralità di stime locali, calcolando
per ciascun dato pixel di detta pluralità di pixel una
rispettiva stima di un parametro statistico
rappresentativo del rumore locale presente in un intorno
15 del dato pixel;

ed in cui detta stima del parametro statistico del rumore
globale σ_n^{GL} è ottenuta a partire da detta pluralità di
stime locali.

9. Metodo secondo la rivendicazione 8, in cui dette
20 stime locali sono misure locali di varianza.

10. Metodo secondo la rivendicazione 8, in cui detta
pluralità di pixel comprende pixel appartenenti a regioni
omogenee della prima immagine.

11. Metodo secondo la rivendicazione 1, il cui detto
25 filtraggio digitale del primo tipo utilizza un sotto-

insieme di pixel appartenenti a detto primo e da detto secondo insieme di pixel, detto sotto-insieme essendo individuato mediante una ulteriore fase di selezione effettuata in accordo al Duncan Range Test.

5 12. Metodo secondo la rivendicazione 3, comprendente inoltre una fase di stimare per l'ulteriore pixel un ulteriore parametro statistico rappresentativo del rumore locale presente sui pixel di detto terzo insieme, detto
10 ulteriore parametro essendo stimato anche in base allo specifico colore dell'ulteriore pixel, il filtraggio digitale del secondo tipo utilizzando detto ulteriore parametro.

13. Filtro, per ridurre il rumore di una sequenza di immagini in formato CFA, caratterizzato dal fatto detta
15 riduzione del rumore è effettuata secondo il metodo in accordo ad una qualsiasi delle precedenti rivendicazioni.

14. Dispositivo di acquisizione per acquisire una sequenza di immagini digitali in formato CFA, comprendente un sensore per acquisire dette immagini, detto sensore
20 comprendendo un filtro CFA, caratterizzato dal fatto che la sequenza di immagini in formato CFA è elaborata secondo il metodo di filtraggio di rumore in accordo ad una qualsiasi delle rivendicazioni da 1 a 12.

**"Metodo per filtrare il rumore di una sequenza di
immagini digitali"**

RIASSUNTO

Metodo per filtrare il rumore di una sequenza di immagini
5 digitali $Img_1, \dots, Img_n, Img_{n+1}, \dots$ in formato CFA comprendente le
seguenti fasi:

- processare una prima immagine CFA Img_{n-1} della
sequenza per ottenere una corrispondente immagine CFA
migliorata f_Img_{n-1} avente rumore ridotto;
- 10 - elaborare almeno un pixel $p_n(x, y)$ di una seconda
immagine CFA Img_n della sequenza che segue temporalmente
detta prima immagine Img_{n-1} , detta fase di elaborare
l'almeno un pixel fornendo un corrispondente pixel
filtrato $f_p_n(x, y)$ ed includendo le seguenti operazioni:
- 15 - selezionare SW_sel un primo insieme di pixel
 $SW_n(x, y)$ comprendente detto almeno un pixel ed una
pluralità di pixel della seconda immagine CFA ad esso
spazialmente adiacenti;
- selezionare TW_sel un secondo insieme di pixel
20 $TW_n(x, y)$ comprendente pixel dell'immagine CFA migliorata
omologhi ai pixel di detto primo insieme;
- effettuare un filtraggio digitale di un primo tipo
 ST_filter utilizzando pixel appartenenti a detti primo e
secondo insieme per generare il pixel filtrato $f_p_n(x, y)$

25 (Figura 3)



**Europäisches
Patentamt**

**European
Patent Office**

**Office européen
des brevets**

Bescheinigung

Certificate

Attestation

Die angehefteten Unterlagen stimmen mit der ursprünglich eingereichten Fassung der auf dem nächsten Blatt bezeichneten europäischen Patentanmeldung überein.

The attached documents are exact copies of the European patent application described on the following page, as originally filed.

Les documents fixés à cette attestation sont conformes à la version initialement déposée de la demande de brevet européen spécifiée à la page suivante.

Patentanmeldung Nr. Patent application No. Demande de brevet n°

02425532.5

Der Präsident des Europäischen Patentamts;
Im Auftrag

For the President of the European Patent Office

Le Président de l'Office européen des brevets
p.o.

R C van Dijk



Anmeldung Nr:
Application no.: 02425532.5
Demande no:

Anmeldetag:
Date of filing: 23.08.02
Date de dépôt:

Anmelder/Applicant(s)/Demandeur(s):

STMicroelectronics S.r.l.
Via C. Olivetti, 2
20041 Agrate Brianza (Milano)
ITALIE

Bezeichnung der Erfindung/Title of the invention/Titre de l'invention:
(Falls die Bezeichnung der Erfindung nicht angegeben ist, siehe Beschreibung.
If no title is shown please refer to the description.
Si aucun titre n'est indiqué se référer à la description.)

Method for filtering the noise of a digital image sequence

In Anspruch genommene Priorität(en) / Priority(ies) claimed /Priorité(s)
revendiquée(s)

Staat/Tag/Aktenzeichen/State/Date/File no./Pays/Date/Numéro de dépôt:

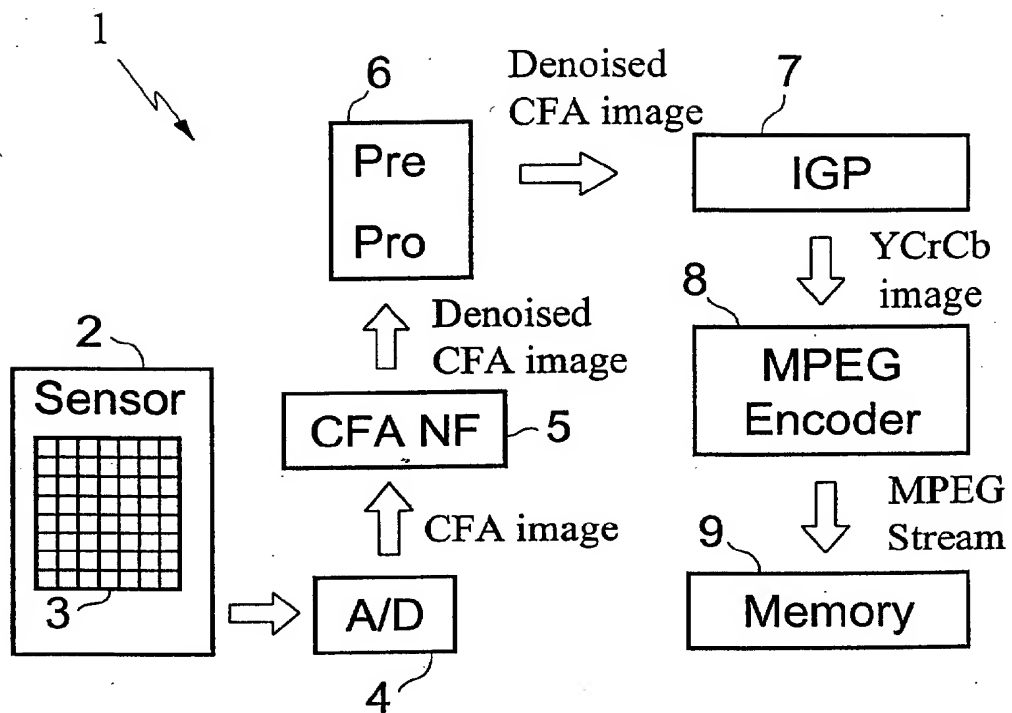
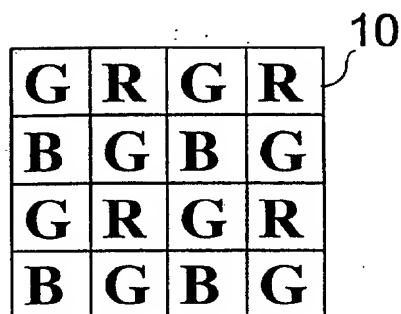
EP/31.08.01/EP 01830562

Internationale Patentklassifikation/International Patent Classification/
Classification internationale des brevets:

H04N9/04

An Anmeldetag benannte Vertragstaaten/Contracting states designated at date of
filing/Etats contractants désignées lors du dépôt:

AT BE BG CH CY CZ DE DK EE ES FI FR GB GR IE IT LI LU MC NL PT SE SK TR

*Fig. 1**Fig. 2*

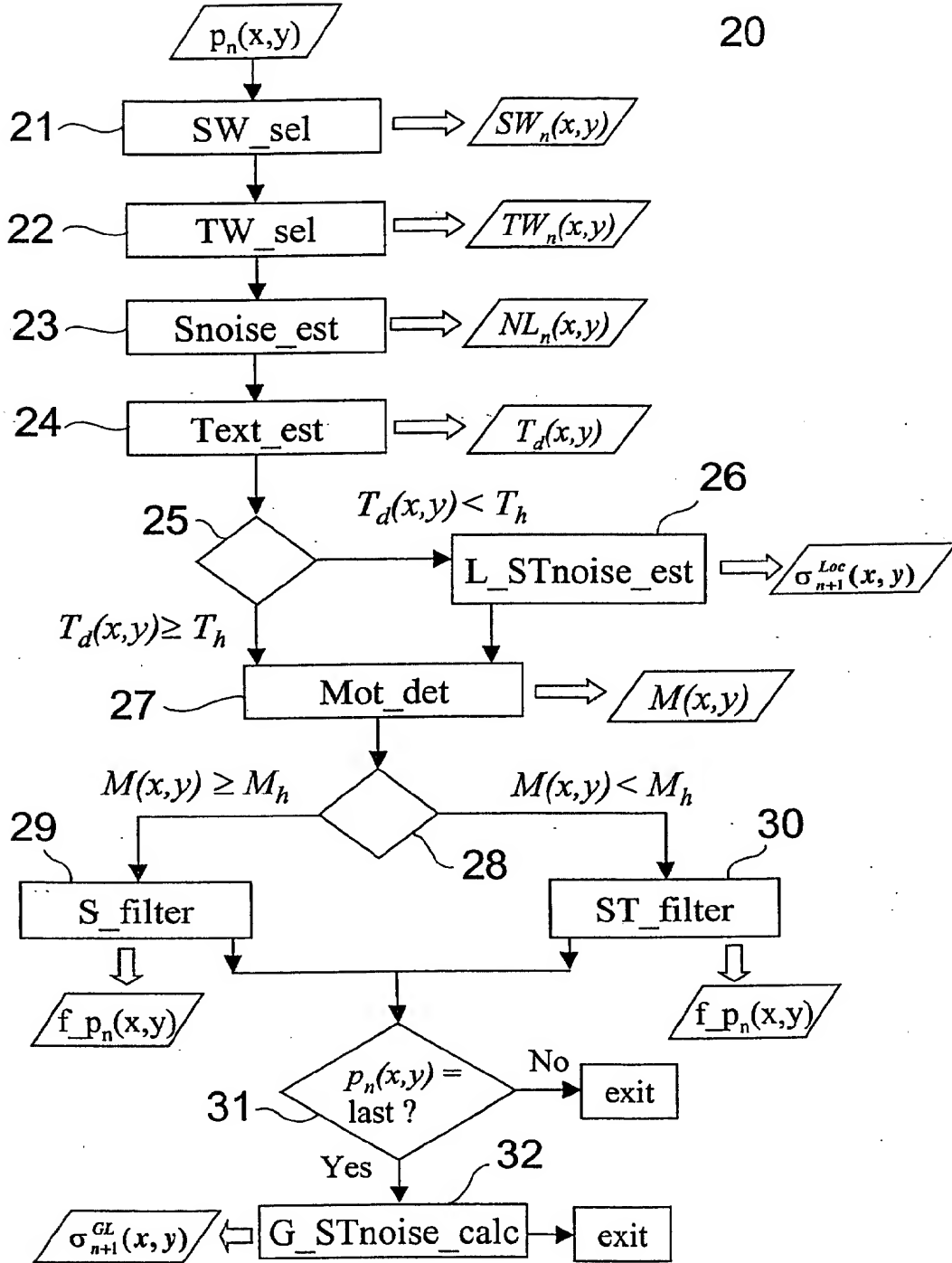


Fig. 3

SM_G

G	R	G₁	R	G
B	G₂	B	G₃	B
G₄	R	G₀	R	G₅
B	G₆	B	G₇	B
G	R	G₈	R	G

Fig. 4

SM_R

R₁	G	R₂	G	R₃
G	B	G	B	G
R₄	G	R₀	G	R₅
G	B	G	B	G
R₆	G	R₇	G	R₈

SM_B

B₁	G	B₂	G	B₃
G	R	G	R	G
B₄	G	B₀	G	B₅
G	R	G	R	G
B₆	G	B₇	G	B₈

Fig. 5

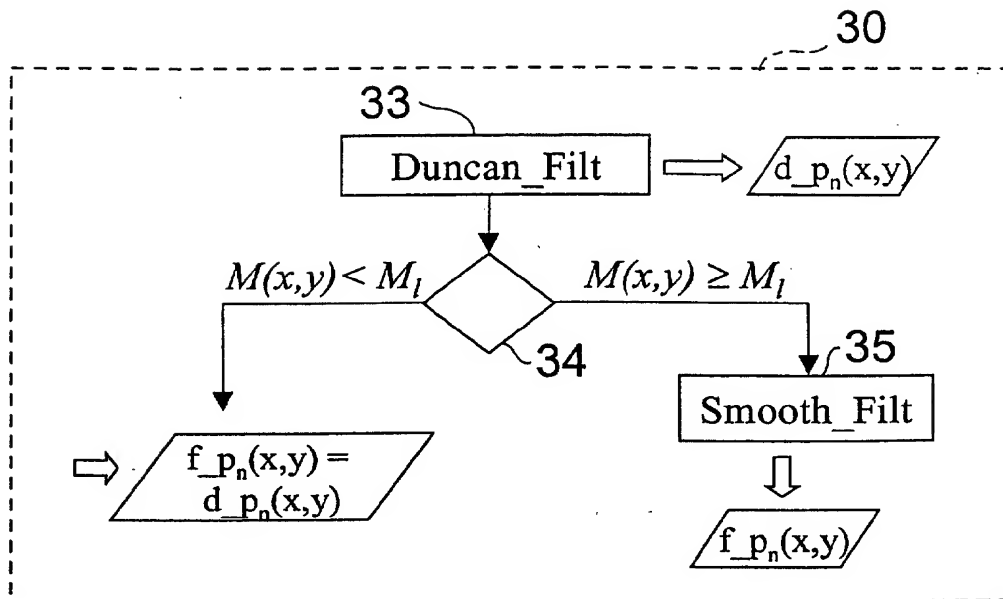


Fig. 6

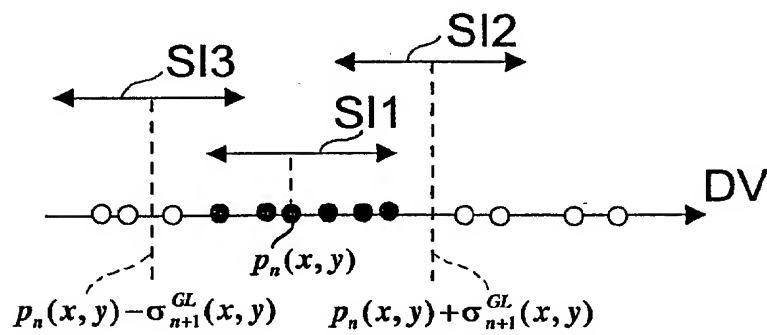
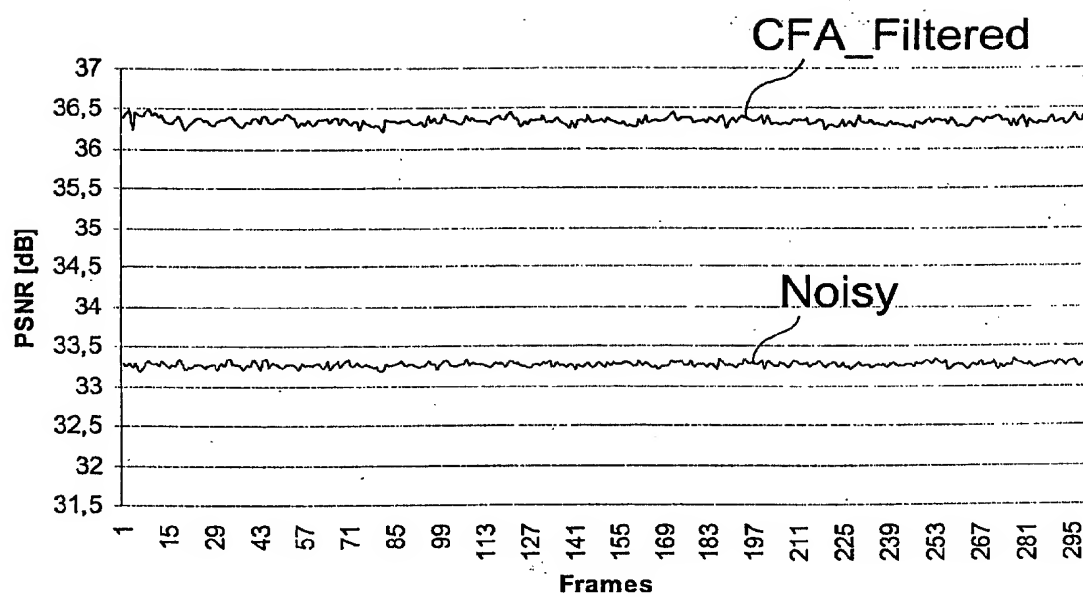
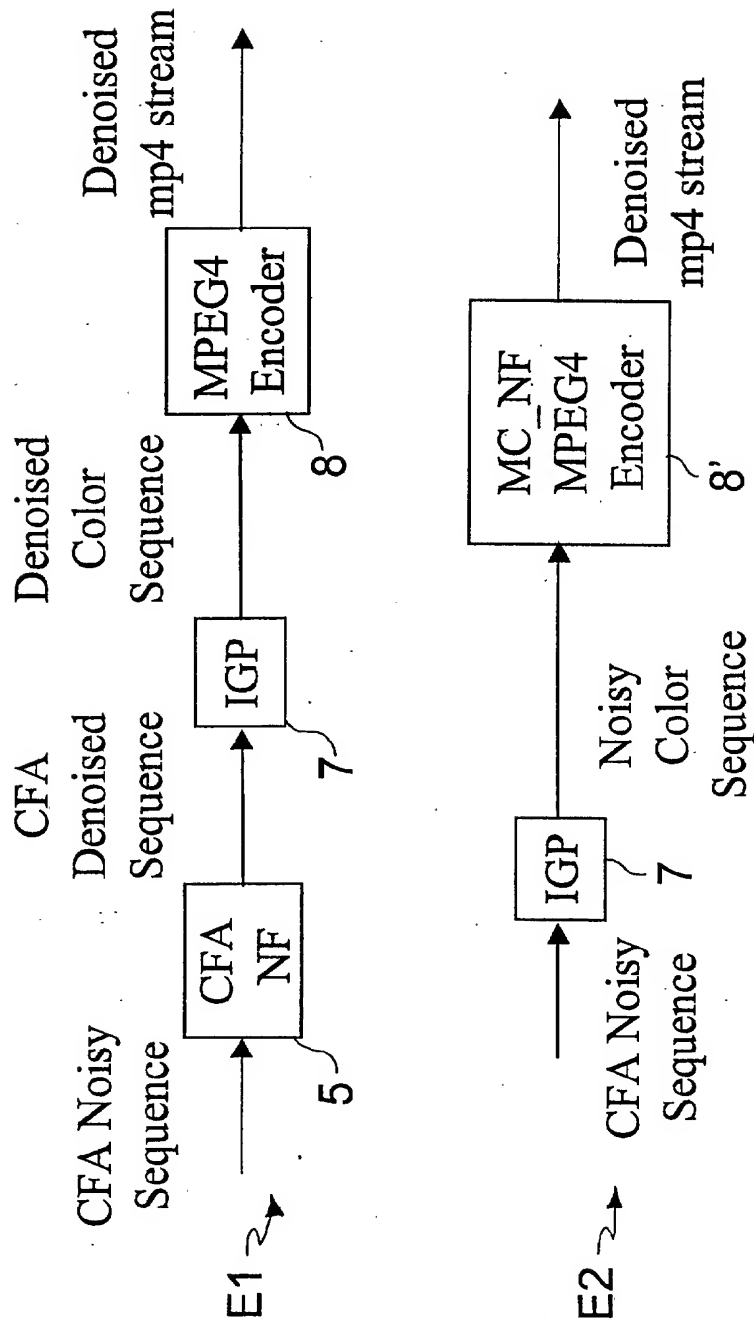


Fig. 7

*Fig. 8*

*Fig. 9*